УДК 550.832

Дубовенко Ю.І., канд. фіз.-мат. наук, н.с.
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
М. Київ, пр. Палладіна, 32, тел.: 424-2052, dubovenko@igph.kiev.ua

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ЯК ОСНОВИ ГЕОДИНАМІЧНОГО КАРТУВАННЯ

Природні екосистеми є складовою ланкою геологічного середовища (верхня частина земної кори до двох км), яке забезпечує людство матеріальними ресурсами. Неперервний моніторинг природних екосистем з метою їх убезпечення від техногенної деградації вимагає постійного поповнення багажу знань про ті характеристики цих екосистем, які визначають ступінь їх саморегуляції і спротиву техногенному навантаженню. Усестороннє вивчення параметрів геологічного середовища, які призводять до негативних наслідків в земних оболонках, необхідне для забезпечення екологічної безпеки промислових об'єктів і є насущною проблемою задля сталого розвитку нашої держави. Головне завдання моніторингу стану геологічного середовища полягає у визначенні вмісту і поширення природних и техногенних хімічних елементів і сполук.

Геологічному середовищу притаманний цілий ряд важливих екологічних функцій, які визначають вплив тих чи інших факторів навколишнього середовища на стан біоти в цілому та людини зокрема. Серед них найвагоміший вклад в трансформацію екосистем визначають такі функції, як ресурсна (мінерально-сировинна база економіки та життєвий простір), геодинамічна (вплив літосферних процесів на безпеку проживання та їх антропогенні наслідки), геохімічна (вплив природних і штучних геохімічних полів), геофізична (вплив природних та наведених фізичних полів). Згадані функції не мають чітких меж і ілюструють повноту і складність залежностей між геологічним середовищем та станом людини в ньому. Так, хімічне забруднення поверхневих і підземних вод, як геохімічний чинник, змінюють величину запасів чистої води – ресурсної функції, зони тектонічної активності є об'єктом уваги і ресурсної (розломи є „пастками" багатьох видів корисних копалин), і геодинамічної функції середовища (ці ж розломи становлять величезний ризик для техногенних споруд).

За сучасними уявленнями, зонально-блокова структура земної кори зумовлена різним ступенем циклічних тектонічних рухів цих блоків. Характерні цим рухам зміни інтенсивності та напрямів зміщень окремих блоків визначають їх знакозмінну пульсуючу природу та відповідний флуктуаційний вплив на базис будь-яких споруд, яким „пощастило" опинитись в геодинамічних зонах – на межах рухомих блоків різної активності. Розміри та напружений стан таких зон залежать від причин активності блоків. В межах зон розущільнені різнознаковими напругами породи забезпечують прискорену інфільтрацію як природних так і техногенно забруднених флюїдів (вод, паро газових потоків, фільтратів різних сполук, тощо). Нерідко негативні явища, як-то підтоплення й заболочування, забруднення поверхневих і підземних вод, просідання ґрунту чи карстові процеси зумовлені міграцією флюїдів в геодинамічних зонах. Вплив геодинаміки на середовище цим не вичерпується, варто лише згадати проблеми моніторингу атомних станцій чи ліквідації шахт в Донбасі, труднощі з захороненням агресивних відходів, тому актуальність її дослідження не підлягає сумніву.

На поверхні Землі зональна блоковість кори відбивається в лінійних формах рельєфу – лінеаментах, прогинах, руслах річок, зонах грунтово-рослинних контрастів, проте внаслідок ерозійних явищ та агротехнічних заходів їх не завжди можна надійно від слідкувати. Мережа лінеаментів і їх зон в цілому відбиває регіональний геотектонічний розломно-блоковий каркас кристалічного фундаменту і осадового чохла. З метою трасування геодинамічних зон використовують геофізичні методи, які виявляють зміну стану гірських порід за варіаціями гравімагнітних, сеймо-, електро, радіоактивних, геохімічних і теплових полів. Ці методи в комплексі дозволяють створити геодинамічну карту (структурно-тектонічну схему) заданої території, інтерпретація якої дасть загальну характеристику фізико-механічного стану розущільненого масиву порід в межах патогенних зон. Карта інженерно-геодинамічної зональності дозволяє не лише пояснюяти, але й попереджати причини аварій, підтоплення будівель.

Раціональний комплекс методів за умов обмеження їх застосовності (природні й штучні завади, технологічні складнощі, економічна доцільність) запропонований донецькими дослідниками [1], включає спосіб структурно-геодинамічного картування (експлуатує анізотропію електричних властивостей штучних і природних покровів в полі поточних геодинамічних процесів в корінному масиві), магнітодинамічні способи моніторингу напруженості споруд, радіометричний спосіб вивчення при поверхневої геодинаміки. Ефективним є і метод картування геодинамічних зон за зміною постійної частини природного геомагнітного поля.

Методика геодинамічного картування геологічного середовища геофізичними засобами проходить через дві стадії: геоморфологічний лінеаментний аналіз даних аерокосмічної зйомки з метою оконтурення геодинамічних зон та, власне, створення карти геодинамічних зон на основі геофізичних зйомок, яка є підґрунтям для прийняття інженерних рішень. Але на практиці якраз дані аерокосмічної зйомки не завжди наявні, і, в той же час, нині в інтернеті широко представлені дані альтиметрії та супутникової гравіметрії, які можуть бути покладені в основу створення цифрової моделі заданої місцевості.

В Україні вже накопичено певний досвід по створенню цифрових моделей рельєфу певних локальних територій [2]. Цифрова модель місцевості є більш загальним витвором, який включає в себе сукупність цифрових карт: власне, цифрову карту рельєфу – базу даних ундуляцій геоїда на заданій території, карту аномалій зовнішнього гравіполя за супутниковими даними, різноманітні карти трансформацій поля (різні редукції, вищі похідні, градієнти, псевдогравіаномалії, перерахунок вверх-вниз, тощо), карту апріорної інформації. Такий набір даних, інтегрованих в візуальну картографічну оболонку, являє собою складну взаємопов'язану геоінформаційну систему (ГІС), яка дозволятиме в реальному часі аналізувати вхідні геофізичні дані, необхідні для геодинамічного картування. Ключова роль в такій системі, на нашу думку, належить двом шарам: топогеодезичній основі, поданої у вигляді цифрової моделі рельєфу (регулярної мережі перевищень), та гравіметричному шару у вигляді цифрової моделі зовнішнього гравітаційного поля, як основі для подальшого комплексування з іншими параметрами середовища.

Наповнення цих інформаційних шарів вимагає послідовного вирішення цілої низки завдань. Так, для закладення універсальної топооснови потрібно розрахувати локальний геоїд для території України, забезпечити його перерахунок у значення міжнародної референц-системи WGS-84, та в прийняті для наявного картографічного матеріалу проекції (зокрема, в прямокутну Гауса-Крюгера, чи в UTM). Наповнення гравіметричної бази даних передбачає вирішення проблем сканування й оцифровки паперових карт, перетворення координат в різних проекціях, внесення топо- і інших поправок, редукцію даних сили тяжіння на задану поверхню, побудова аналітичних апроксимацій поля, вирішення прямих і обернених лінійних задач

гравіметрії з природними обмеженнями вхідних даних (обмеженість профілю, детермінованість діапазону густин, ортогональність векторів корисного сигналу й похибки, відомі норми похибок, гладкість початкових наближень, тощо). Значна частина вказаних проблем вже розв'язана на протязі багаторічної діяльності відділу глибинних процесів Землі і гравіметрії інституту геофізики НАНУ і навіть доведена до програмного коду. Складність його застосування полягає в тому, що він написаний для ЕОМ епохи динозаврів, і вимагає перепрограмування на рівні сучасних засобів (Digital Visual Fortran 6.0, MS Visual C Studio). Докладені зусилля в цьому напрямі та деякі нові розробки [3,4] дозволяють сподіватись на успішне продовження досліджень зі створення єдиної автоматизованої системи обробки геофізичної інформації.

Наведемо і власні міркування щодо критеріїв вибору геоінформаційної системи. Єдина така система у нас відсутня з технічних і економічних причин; серед найбільш поширених відзначимо ArcView, MapInfo. Проблеми впровадження єдиної стандартної ГІС полягають в тому, що: вхідні геофізичні дані для неї за своєю природою розрізнені, неповні і часто несистематизовані; відсутні стандарти на формат збереження інформації, вирішувані задачі різнорідні. Потрібна нам ГІС має бути недорогою, легко конфігурованою, вміти співставляти різноформатні дані без операцій імпорту-експорту, з можливістю створення додаткових модулів на поширеній мові програмування. Розумним компромісом в цьому плані є використання стандартного ядра ГІС на основі AutoDesk World. Причиною вибору цього програмного продукту стали низька вартість при широких можливостях (інтеграція з ЗУБД, підтримка топології й проекцій, тематичні шари, офісний інтерфейс, пряма сумісність з іншими ГІС, драйвери для нестандартних форматів даних), можливість створення модулів користувача на С++ і VBA. Ці модулі не лише вирішуватимуть спеціалізовані задачі, але й розширюватимуть можливості самої системи, до того ж вони в силу поширеної мови легко інтегруватимуться в існуючі комплекси інтерпретації даних геофізики. Так, для поширеної задачі побудови рельєфу місцевості за окремими точками, в яких задано висоти, вже існує модуль LandTool 1.0 для AutoDesk World. Він дозволяє за заданими в будь-якому шарі проекту точками з додатковою координатою z збудувати регулярну мережу висот (цифрову модель рельєфу), відобразити її у вигляді контурної чи залитої градієнтним кольором плоскої чи просторової фігури, і відмічати точки рельєфу з заданою висотою. Пересування по „рельєфу" можливі в реальному часі, з усіма нахилами й поворотами. За допомогою цього модуля можливо збудувати довільну кількість ізоліній в довільному висотному інтервалі в будь-якому шарі проекту; оскільки ізолінії моделі рельєфу теж мають висотну відмітку z, їх можна експортувати і інші ГІС. Таким чином інструмент LandTool виводить в просторовий вимір ГІС, від початку розраховану на обробку двомірних карт. Це дозволяє вирішувати задачі просторового аналізу на якісно новому рівні, разом з даними про рельєф чи іншими, що криються під координатою z.

Дійсно, хоча при створенні модуля вирішували загальну задачі відновлення висот на регулярній мережі (цифрова модель рельєфу), його можна застосувати для найрізноманітніших задач, якщо замість координати z підставляти будь-яку іншу характеристику, наприклад, міру забрудненості чи концентрації домішок, насиченість чи в'язкість водних розчинів і флюїдів (в задачах екологічного моделювання), або густину й глибини залягання порід, їх електричні, магнітні чи інші властивості (в задачах геофізики). Необмежена кількість шарів дозволяє комплексно досліджувати просторовий розподіл різних фізичних властивостей і часом вже якісний аналіз остаточних зображень привносить нові погляди на відомі взаємозалежності параметрів навколишнього середовища. В інших ГІС є подібні інструменти, але не настільки зручні, універсальні й інтуїтивно зрозумілі, як LandTool. Крім того, нагадаємо, він написаний на С++, що означає портабельність та повну сумісність з програмним забезпеченням інших авторів.

Реалізація такої схеми покомпонентного проектування дозволить кожному учаснику єдиної мережі моніторингу займатись створенням власного модуля і наповненням лише власного інформаційного шару (геофізичного поля чи його компонент), а їх загальна ув'язка лишається „на совісті" ГІС AutoDesk World, яка таким чином відіграватиме роль своєрідної „операційної системи". Для перевірки коректності комплексного аналізу за допомогою модулів користувача потрібно об'єднати зусилля різних спеціалістів на певній окремій площі, що представляє пошуковий чи екологічний інтерес. Практична значущість такого підходу вже доведена спільними розробками Центру нових інформаційних технологій Калінінградського університету та Центру інженерних технологій „CS Trade".

Задля оптимізації зйомки, накопичення і аналізу результатів спостережень потрібно створити єдину мережу спостережень з сучасним техніко-методичним забезпеченням, а також автоматизовану підсистему збору, обробки, аналізу і зберігання даних у вигляді баз даних та комплексних банків інформаційних ресурсів з розподіленим доступом. Завдяки цьому з'явиться можливість оперативно запобігати техногенним катастрофам геодинамічної природи і цим забезпечити збереження екологічної чистоти геологічного середовища.

1. *Воевода Б.И., Соболев Е.Г., Савченко О.В*. Геодинаміка и ее роль в устойчивом развитии регионов // Мат. наук.-пр. конф. „Матеріально-сировинне забезпечення і сталий розвиток регіонів". – Донецк: Изд-во ДонТУ, 2002. – 167 с.; 2. *Левченко О.М*. Комп'ютерне моделювання рельєфу та пов'язаних з ним природних процесів на території Львівщини: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.24.02 / Нац. ун-т „Львівська політехніка". – Л., 2004. – 20 с.; 3. *Якимчик А.И., Дубовенко Ю.И., Черная О.А*. Построение линейных аналитических аппроксимаций по результатам гравиметрических сьемок морских акваторій // Мат. 8-ї міжн. наук. конф. „Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища", Київ, 30.09-1.10.07. – К., 2007.; 4. *Дубовенко Ю.І.* Оптимізація математичного і програмного забезпечення для чисельного розв'язання СЛАР в обернених задачах гравіметрії // Мат. 8-ї міжн. наук. конф. „Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища", Київ, 30.09-1.10.07. – К., 2007.